

TECHNICKÁ UNIVERZITA V LIBERCI
FAKULTA STROJNÍ
KATEDRA MATERIÁLU

Studijní program: B2341 Strojírenství
Studijní obor: 3911R018 Materiály a technologie
Zaměření: Materiálové inženýrství

**Hodnocení útlumu elektromagnetického pole
transparentním materiálem**

**The evaluation of inhibition of an electromagnetic field by
means of transparent material**

KMT – B – 216

Jiří Buřič

Vedoucí práce: prof. Ing. Petr Louda, CSc.
Konzultant: Ing. Totka Bakalová, Ph.D, Ing. Veronika Šafářová

Počet stran: 45
Počet tabulek: 8
Počet obrázků: 38
Počet grafů: 5
Počet příloh: 0

Datum 23.5.2013



ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

Jméno a příjmení

Jiří B U Ř I Č

studijní program

B2341 Strojírenství

obor

3911R018 Materiály a technologie

zaměření

Materiálové inženýrství

Ve smyslu zákona č. 111/1998 Sb. o vysokých školách se Vám určuje bakalářská práce na téma:

Hodnocení útlumu elektromagnetického pole transparentním materiálem

Zásady pro vypracování:

(uveďte hlavní cíle bakalářské práce a doporučené metody pro vypracování)

1. Proved'te rešerši v oblasti vytváření bariér, za účelem tlumení elektromagnetického pole transparentním materiálem.
2. Navrhněte vhodné technické varianty uspořádání takto zvolené varianty.
3. Proved'te experimentální vyhodnocení útlumových vlastností transparentního materiálu.
4. Proved'te diskusi k naměřeným výsledkům a vyvod'te závěry.



Forma zpracování bakalářské práce:

- průvodní zpráva v rozsahu 25 - 40 stran
- přílohy

Seznam literatury (uveďte doporučenou odbornou literaturu):

- [1] SVAČINA, J. *Základy elektromagnetické kompatibility. Část 6: Normalizace v oblasti EMC*. Elektrevue [online]. 2001/36 [cit. 2010-06-07]. Dostupné z <http://www.elektrevue.cz>. ISSN 1213-1539.
- [2] AVLONI, J., et al *Electromagnetic shielding with polypyrrole-coated fabrics*. In AMC Europe Conference. [s.l.] : [s.n.], 2006.
- [3] ŠPILLER O. *Měření EMI výkonových prvků obvodů řízení pohybů a jejich vliv na sdělovací a telekomunikační systémy*. Diplomová práce. Univerzita Pardubice, Dopravní fakulta, 2009. 83 l.
- [4] Nařízení vlády č. 1/2008 Sb., o ochraně zdraví před neionizujícím zářením

Vedoucí bakalářské práce:

Konzultant bakalářské práce:


prof. Ing. Petr Louda, CSc.

Ing. Totka Bakalová, Ph.D.

Ing. Veronika Šafářová




prof. Ing. Petr LOUDA, CSc.
vedoucí katedry


doc. Ing. Miroslav MALÝ, CSc.
děkan

V Liberci dne 11.03.2013

Platnost zadání bakalářské práce je 15 měsíců od výše uvedeného data (v uvedeně lhůtě je třeba podat přihlášku ke SZZ). Termíny odevzdání bakalářské práce jsou určeny pro každý studijní rok a jsou uvedeny v harmonogramu výuky.

PROHLÁŠENÍ

Byl jsem seznámen s tím, že na mou bakalářskou práci se plně vztahuje zákon č. 121/2000 Sb., o právu autorském, zejména § 60 – školní dílo.

Beru na vědomí, že Technická univerzita v Liberci (TUL) nezasahuje do mých autorských práv užitím mé bakalářské práce pro vnitřní potřebu TUL.

Užiji-li bakalářskou práci nebo poskytnu-li licenci k jejímu využití, jsem si vědom povinnosti informovat o této skutečnosti TUL; v tomto případě má TUL právo ode mne požadovat úhradu nákladů, které vynaložila na vytvoření díla, až do jejich skutečné výše.

Bakalářskou práci jsem vypracoval samostatně s použitím uvedené literatury a na základě konzultací s vedoucím bakalářské práce a konzultantem.

V Liberci dne

.....
(podpis autora)

PODĚKOVÁNÍ

Děkuji vedoucímu bakalářské práce prof. Ing. Petru Loudovi, CSc., Ing. Totce Bakalové, Ph.D. a Ing. Veronice Šafářové za účinnou, metodickou, pedagogickou a odbornou pomoc a další cenné rady při zpracování mé bakalářské práce. Další poděkování patří rodičům za podporu a Ing. Evženu Rainerovi ze společnosti OGB s.r.o. za nápad na téma k bakalářské práci.

V Liberci dne

.....
(podpis autora)

ANOTACE

Tato práce je zaměřena na možnosti stínění elektromagnetického pole s ohledem na několik parametrů - cena, schopnosti tlumit elektromagnetické pole a transparentnost stínění. Součástí práce byla také rešerše v oblasti elektromagnetického pole. Metody jak to dělají a z jakých materiálů.

Cílem bakalářské práce bylo navrhnout nové možnosti u transparentního stínění elektromagnetického pole.

KLÍČOVÁ SLOVA

Transparentní stínění, kovová síťka, pokovené sklo, elektromagnetické pole, elektromagnetický útlum.

ABSTRACT

This dissertation is focused on the possibility of shielding electromagnetic fields, taken several parameters into account: price, ability to absorb electromagnetic field shielding and transparency of shielding. It also includes general research in the field of electromagnetism. Methods used in this research cover the workings of metal mesh and different materials used for this.

The purpose of this dissertation was to design new opportunities for transparent electromagnetic shielding.

KEYWORDS

Transparent shield, metal mesh, coated glass, electromagnetic fields, electromagnetic attenuation.

OBSAH

SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK	6
1. ÚVOD	8
2. ELEKTROMAGNETICKÁ POLE.....	9
2.1 Elektromagnetické stínění.....	9
2.1.1 MUDROCH LABS s.r.o.....	9
2.1.2 ETS-LINDGREN	9
2.1.3 HOLLAND SHIELDING SYSTEMS.....	11
2.1.4 REM	12
2.2 FYZIKÁLNÍ PRINCIP.....	13
2.2.1 Vlastnosti materiálů.....	13
2.2.2 Fyzikální vlastnosti materiálů.....	14
2.3 ELEKTROMAGNETICKÉ STÍNĚNÍ	15
2.3.1 Definice elektromagnetického pole	15
2.3.2 Elektromagnetický útlum	18
3. VLIVELEKTROMAGNETICKÉHO POLE NA LIDSKÝ ORGANISMUS A HYGIENICKÉ NORMY.....	22
3.1 Vliv elektromagnetických polí na lidský organismus.....	22
3.1.1 Statická elektrická pole.....	22
3.1.2 Statická magnetická pole.....	22
3.1.3 Elektromagnetická pole ELF.....	23
3.1.4 Elektrické a magnetické pole ELF.....	23
3.1.5 Vysokofrekvenční elektromagnetická pole	23
3.2 Hygienické normy.....	23
4. METODY ELEKTROMAGNETICKÉHO STÍNĚNÍ.....	26
4.1 Metoda koaxiálního přenosového vedení	26
4.2 Metodu stíněného prostoru	26
4.3 Metodu stíněné schránky	27
5. EXPERIMENTÁLNÍ ČÁST.....	28
5.1 Druhy použitých vzorků pro stínění EMP	28
5.1.1 Kovové sítky.....	28
5.1.2 Pokovená fólie	29
5.1.3 Pokovená skla.....	29
5.3 Měření metodou stínící schránky.....	36
5.4 Optický Mikroskop ZEISS	37
5.5 Naměřené hodnoty	38
6. DISKUSE A VYHODNOCENÍ	42
7. ZÁVĚR.....	43
8. POUŽITÁ LITERATURA.....	44

SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK

A	Útlum absorpcí [dB]
B	Magnetická indukce [T]
c	Rychlost světla [m/s]
d	Průměr vodiče [m]
E	Elektrické pole
E_I	Intenzita elektrického pole [V/m]
EMP	Elektromagnetické pole
ELF	Velmi nízká frekvence
f	Frekvence vlnění [Hz]
H	Magnetické pole
H_I	Intenzita magnetického pole [A/m]
I	Elektrický proud [A]
IR	Infračervené záření
K_S	Koeficient stínění [-]
l	Délka vodiče [m]
M	Útlum mnohonásobným odrazem [dB]
MRI	Magnetická rezonance
P	Výkon [W]
Q	Elektrický náboj [C]
R	Elektrický odpor [Ω]
R_O	Útlum odrazem [Ω]
R_{20}	Rezistence pro teplotě 20°C [Ω]
R_T	Rezistence při teplotě T [Ω]
S	Hustota zářivého toku [W/m^2]
SAR	Měrný absorbovaný útlum [dB]
SE	Elektromagnetický útlum [dB]
S_1	Hustota zářivého toku měřená s překážkou [W/m^2]
S_2	Hustota zářivého toku bez překážky [W/m^2]
t	Tloušťka stínící plochy [m]
U	Elektrické napětí [V]
UV	Ultrafialové záření

Z_0	Impedance volného prostoru [Ω]
Z_M	Impedance prostoru [Ω]
α	Součinitel elektrického odporu [K^{-1}]
γ	Vlnové číslo [m^{-1}]
γ_1	Elektrická vodivost [S/m]
ε	Absolutní permitivita [F/m]
ε_r	Permitivita materiálu [-]
ε_0	Permitivita vakua [F/m]
λ	Vlnová délka [m]
μ	Permeabilita [H/m]
μ_0	Permeabilita vakua [H/m]
ρ	Rezistivita vodiče [Ωm]
σ	Konduktivita materiálu [$\Omega^{-1}m^{-1}$]
Φ	Indukční magnetický tok [$V*s$]
ψ	Indukční tok elektrického pole
ω	Úhlová rychlost [s^{-1}]

1. ÚVOD

Před příchodem průmyslové revoluce byl člověk vystaven jen přírodnímu záření. Postupem času ve 20. století se poptávka po elektrické energii začala zvětšovat. I v důsledku technologického pokroku se objevuje mnoho umělých zdrojů elektromagnetického pole (EMP). Fyzik James Clerk Maxwell (1831-1879) zjistil a popsal existenci elektromagnetických vln i že světlo je elektromagnetické vlnění. Matematicky vyjádřil zákony popisující elektromagnetické pole. Dnes je známe pod názvem Maxwellovy rovnice.

Ve 21. století žijeme v době bezdrátových technologií a sami sebe vystavujeme denně EMP, které pracují na různých kmitočtech s výkonem pohybujícím se od *mW* do *MW*. Pro tyto elektromagnetická pole se vžil název elektrosmog (odborný název je neionizující záření). Elektrosmog je souhrnný název pro elektromagnetická pole a vlny, které vznikají v důsledku technických činností člověka a působí na okolní prostředí. Tato elektromagnetická pole najdeme ve větší či menší míře všude tam, kde dochází k přenosu elektrické energie, elektromagnetických vln, k přenosu informací (mobilní síť, rádiové vlny) a u provozu elektrických zařízení.

Život nám to činí jednodušším, ale má to i svá prokázaná rizika na lidské zdraví. Bezpečné hodnoty, jakým může být člověk vystaven, jsou stanoveny hygienickými normami. Tyto hodnoty stanovuje nařízení vlády 1/2008 Sb. o ochraně zdraví před neionizujícím zářením. Do tohoto nařízení je již zahrnuta i směrnice Evropského parlamentu.

Nejen zdravotní rizika, ale i informace, které jsou v dnešní době velice ceněné a někdy mají i hodnotu života. Proto je potřeba tyto pole pohltnout nebo odrazit. Dnešní stínící komory jsou „nevhledné krabice“ a v moderním designu své místo nemají. Naproti tomu sklo se ve velké míře používá v celém odvětví stavebnictví a má tam své nenahraditelné místo. Spojením moderního designového prvku a možnost stínit prostor od EMP by měla zajistit takovému produktu prodejnost.

CÍLE PRÁCE BYLY:

- Provést rozbor problematiky v oblasti stínění EMP,
- Použít různé varianty transparentních materiálů ke stínění,
- Experimentálně vyhodnotit tyto materiály,
- Rozbor a vyhodnocení výsledků.

2. ELEKTROMAGNETICKÁ POLE

Elektromagnetické pole je fyzikální pole skládající se ze dvou fyzikálně propojených polí, elektrického a magnetického.

2.1 Elektromagnetické stínění

Elektromagnetické stínění je proces, který omezujeme průnik elektromagnetických polí do (z) daných prostor tím, že je blokuje vodivou překážkou. Existuje řada firem, které se touto problematikou zabývají.

2.1.1 MUDROCH LABS s.r.o.

Firma provádí základní prohlídky domácích a firemních prostor proti odposlechům a unikům informací a montuje faradayovy klece k odstínění celých místností tedy netransparentní provedení. Lze je použít i ve vysokofrekvenčních laboratořích. Firma montuje dvoje provedení faradayovy klece

- Neabsorpční Faradayova klec - ochrana proti odposlechům, dosahovaný útlum je zde větší než 100dB. Cena 9000,-Kč/m³
- Absorpční bezodrazová komora – firma garantuje útlum mezi 130–180 dB.

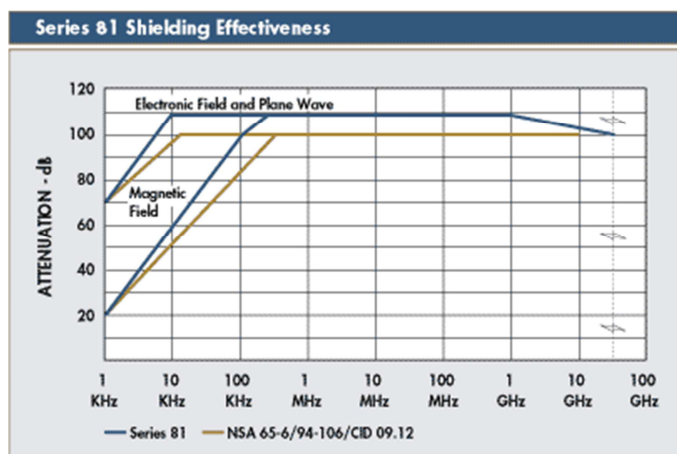
2.1.2 ETS-LINDGREN

Mezinárodní firma, která se zabývá inovátorstvím systémů pro detekci a měření magnetického, elektromagnetického a akustického záření. Vyrábí klece k odstínění prostor opět netransparentním způsobem.



Obr.2.1 Vzhled Faradayovy klece Series 81 [13]

Jeden z jejich produktů je faradayova klec Series 81 (obr. 2.1) – základem této konstrukce je ocelový rám a na něj jsou přidělány ocelové plechy. Výhodou této konstrukce je, že se dá dále rozšiřovat. Na obrázku 2.2 je naznačeno, jakých hodnot dosahují tímto stíněním.



Obr.2.2 Útlum Series 81 [13]

EST-LINDGREN se věnuje i odstínění magnetických rezonancí (MRI) v nemocnicích a na stránkách propagují řešení s okny mezi místnostmi s MRI a „velínem“ a okny do venkovních prostor.

- **Observation Window (pozorovací okno – viz obr. 2. 3)**

Maximální rozměry tohoto pozorovacího okna jsou 122cm x 183 cm. Elektromagnetický útlum pro hodnoty 150MHz a 3T MRI je 100dB.



Obr.2.3 Observation Windows [13]

- **ClearshieldTH Windowsolutions (Okenní řešení)**

Maximální rozměry jsou 122cm x 183 cm. Tyto bloky se dají dále spojovat do větších rozměrů, viz obrázek 2.4.

Elektromagnetický útlum pro hodnoty 150MHz a 3T MRI je 100dB



Obr.2.4 Okenní řešení stínění [13]

2.1.3 HOLLAND SHIELDING SYSTEMS

Nizozemská firma založena v roce 1985 zabývající se vývojem zkušebních bezodrazových komor a metodami měření „elektrosmogu“ a výrobou odstíněných prostor od elektromagnetického pole. V jejich nabídce najdete i vodivé transparentní sítě zvrstvené do průhledné fólie viz obrázek 2.5. V Tabulce 2.1 je útlum jednotlivých sítěk v závislosti na typu materiálu a průměru drátů.



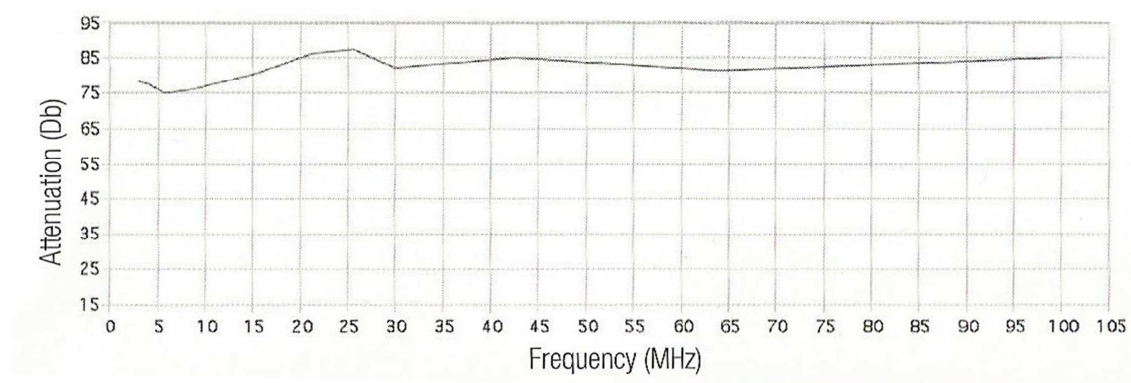
Obr.2.5 Průhlednost stínící sítě [12]

Tab.2.1 Útlum kovových sítěk [14]

materiál		Nerez				Bronz		Měď	
Typ (dráty/palce)		70	80	100	250	100	250	70	100
Průměr drátu (mm)		0.076	0.050	0.050	0.035	0.097	0.035	0.076	0.050
Velikost otvoru (mm)		0.287	0.267	0.204	0.067	0.157	0.067	0.287	0.204
Světelná propustnost %		62.6	71	64.5	43.5	38.2	43.5	62.6	64.5
Typ pole	frekvence	dB	dB	dB	dB	dB	dB	dB	dB
H	10 kHz	20	21	22	22	22	20	24	22
H	100 kHz	21	23	23	22	42	24	39	35
H	1000 kHz	30	33	29	37	61	40	58	54
.
E	1 MHz	90	104	101	114	120	120	105	111
E	10 MHz	89	86	75	91	110	97	100	99
E	100 MHz	69	75	68	78	96	91	86	95
.
EMP	1 GHz	66	60	64	75	79	87	66	72
EMP	10 GHz	33	32	35	46	60	34	39	

2.1.4 REM

Italská firma prodávající lékařské přístroje (MRI), přišla na trh s transparentním řešením stínění elektromagnetického pole kolem MRI pomocí kovové sítě zvrstvené ve skle. Příklad řešení ukazuje útlum této transparentní stěny (obr. 2.6 a obr. 2.7).



Obr.2.6 Dosahovaný útlum společností REM [14]



Obr.2.7 Transparentní stínění od firmy REM [12]

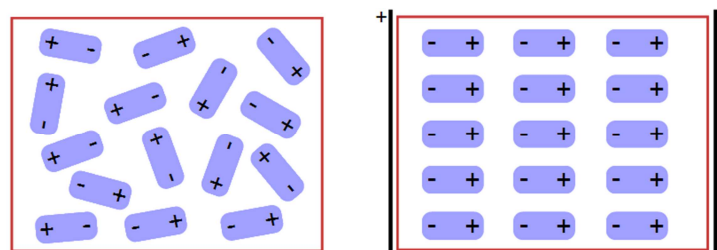
2.2 FYZIKÁLNÍ PRINCIP

Na poli elektromagnetického stínění je několik základních vlastností materiálů, které nám umožňují stanovit útlum EMP.

2.2.1 Vlastnosti materiálů [1]

Materiály můžeme rozdělit podle vodivosti do 3 základních skupin na izolanty, polovodiče a vodiče.

- Izolant je materiál, který nevede elektrický proud a tedy neobsahuje volné částice s elektrickým nábojem. Mezi nejznámější izolanty patří porcelán, sklo a dřevo. Každý izolant je dielektrikum, ale ne každé dielektrikum je izolant. Dielektrikum má schopnost polarizace, která je na obrázku 2.8.



Obr.2.8 Polarizace polárního dielektrika [15]

- Polovodiče mají naproti vodičům silné vazby mezi jádry a elektrony. Jejich elektrická vodivost závisí na vnějších a vnitřních podmínkách. Na vznik volných elektronů je potřeba dodat polovodiči určité množství energie (tepelné, elektrické).
- Vodič je látka, která vede elektrický proud, protože má volné částice s elektrickým nábojem (elektrony).

2.2.2 Fyzikální vlastnosti materiálů [19]

Na poli elektromagnetického stínění se uplatňuje několik fyzikálních mechanismů.

- **Permeabilita μ**

Fyzikální veličina, která určuje, vliv materiálu nebo prostředí na výsledné účinky působení magnetického pole (1).

$$\mu = \frac{B}{H_I} \quad (1)$$

B- magnetická indukce, H_I -intenzita magnetického pole

- **Absolutní permitivita ε**

Jedná se o konstantu daného materiálu (2).

$$\varepsilon = \varepsilon_0 \cdot \varepsilon_r \quad (2)$$

ε_0 - permitivita vakua[F/m], ε_r - relativní permitivita materiálu

- **Elektrický odpor R**

Fyzikální veličina udávající schopnost materiálu vést elektrický proud je definována Ohmovým zákonem (3).

$$R = \frac{U}{I} [\Omega] \quad (3)$$

R je elektrický odpor [Ω], I je elektrický proud [A], U je elektrické napětí [V].

- **Rezistivita vodiče ρ**

Jinak řečeno - měrný odpor. Je to materiálová konstanta charakterizující elektrickou vodivost látky, dána vzorcem (4)

$$\rho = \frac{\pi d^2 R}{4l} [\Omega m] \quad (4)$$

d je průměr vodiče [m], l délka vodiče v [m], R elektrický odpor [Ω].

- **Součinitel elektrického odporu α**

Odpor kovů se udává pro 20°C a roste s teplotou. Pro výpočet elektrického odporu kovového drátu teploty t je možno použít následující vztah (5)

$$R_T = R_{20}[1 + \alpha(t - 20^\circ\text{C})] \quad (5)$$

kde α teplotní součinitel odporu, R_T je rezistance vodiče při teplotě T a R_{20} je rezistance vodiče při teplotě 20°C.

- **Vodivost γ_1**

Elektrickou vodivost (6) vyjadřujeme, jako převrácenou hodnotu rezistivity vodiče ρ

$$\gamma_1 = \frac{1}{\rho} [\text{S/m}] \quad (6)$$

2.3 ELEKTROMAGNETICKÉ STÍNĚNÍ

Elektromagnetické rušení je jakýkoli elektromagnetický jev, který může zhoršit provoz přístroje, zařízení nebo systému anebo nepříznivě ovlivnit živou či neživou hmotu. Elektromagnetické stínění je jedním z nejdůležitějších odrušovacích prostředků elektromagnetické kompatibility, umožňující jak zmenšení rušivého vyzařování na straně zdrojů rušivých signálů, tak i zvýšení elektromagnetické odolnosti na straně přijímačů rušivých signálů. Technické prostředky, kterými dosahujeme uvedených cílů, nazýváme stínícími kryty či stíněním. Jako tradiční stínění jsou často používány neohebné kovové materiály, známými svými elektromagnetickými vlastnostmi [2].

Základní veličiny určující útlum elektromagnetického pole šířeným vyzařováním jsou hodnoty: intenzita elektrického pole $E_1[\text{V/m}]$, intenzita magnetického pole $H_1[\text{A/m}]$. Dalšími veličinami jsou výkon $P [\text{W}]$ a výkonová hustota $S[\text{W/m}^2]$.

2.3.1 Definice elektromagnetického pole [4]

James Clerk Maxwell (1831-1879) anglický fyzik položil základy teorie elektromagnetického pole. Z této teorie vyplývá, že kolem částic s nábojem, které se pohybují se zrychlením, existuje proměnné pole elektrické, vyvolávající současně pole magnetické. Elektromagnetické pole je fyzikální pole, které odpovídá míře působení elektrické a magnetické síle v prostoru. Je složeno ze dvou fyzikálně propojených polí magnetického a elektrického.

- **Elektrické pole**

Elektrický náboj $Q[C]$ svým působením způsobuje elektrického pole o intenzitě $E_I[V/m]$. Napětí $U [V]$ vytváří přitažlivé síly (odpužující). Čím vyšší je napětím, tím silnější se vytvoří pole. Pole se nazývá elektrostatické, když se vektor ve všech bodech s časem nemění. Pole, které vzniká v době, kdy je elektrický přístroj vypnut se nazývá přidružené elektrické pole. Tyto pole se dají jednoduše odstínit stavebním materiálem.

- **Magnetické pole**

Pohybem elektrického náboje vzniká magnetické pole. Je dáno tokem elektrického proudu $I [A]$, o intenzitě $H_I [A/m]$, častěji se však vyjadřuje pomocí magnetické indukce $B [T]$. Magnetické pole prostupuje běžnými materiály, které nejsou určeny ke stínění. Intenzita MP klesá se vzdáleností od zdroje. Protéká-li zařízením elektrický proud, vytváří přidružené magnetické pole.

- **Elektromagnetické pole [19]**

Magnetické a elektrické pole od sebe nelze rozlišit u frekvence nad 30 kHz. Elektromagnetické pole je tedy vytvořeno elektrickou a magnetickou složkou, a vztahy mezi nimi popisují Maxwellovy rovnice.

a) 1. Maxwellova rovnice (zákon celkového proudu (5))

$$\oint_C \vec{H}_I dl = I + \frac{d\psi}{dt} \quad (5)$$

H_I -intenzita magnetického pole cirkulujícího po libovolné křivce c

$\psi = \int_S D dS$ - tok indukce elektrického pole, $I = \int_S j dS$ – celkový elektrický proud

b) 2. Maxwellova rovnice (elektromagnetická indukce (6))

$$\oint_C \vec{E}_I dl = \frac{d\Phi}{dt} \quad (6)$$

E_I - intenzita elektrického pole

$$\Phi = \int_S B dS - \text{magnetický indukční tok} \quad (7)$$

c) 3. Maxwellova rovnice (Gaussův zákon elektrostatiky (8))

$$\oint_C \vec{D} dS = Q \quad (8)$$

$$Q = \int_V \rho dV \text{ – celkový elektrický náboj} \quad (9)$$

d) 4. Maxwellova rovnice (Gaussova věta magnetismu (10))

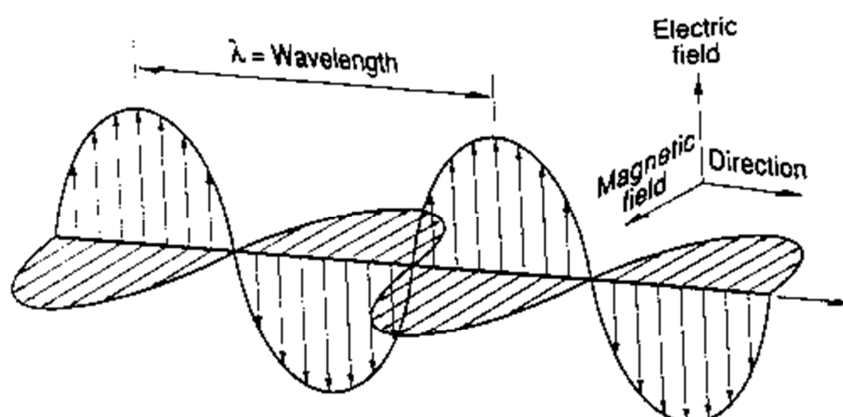
$$\oint_S \vec{B} dS = 0 \quad (10)$$

Magnetický indukční tok libovolnou uzavřenou orientovanou plochou S je roven 0.

• **Elektromagnetické vlnění**

Po Maxwellově smrti, německý fyzik Heinrich Rudolf Hertz experimentálně objevil elektromagnetické vlnění. Toto vlnění je procesem neustálých přeměn elektrického a magnetického pole, které se šíří rychlostí světla prostorem. Jedná se v podstatě o elektromagnetické pole, které se šíří prostorem ve vlnách rychlostí světla ($c = 299\,792\,458$ m/s) a elektromagnetické vlny jsou samy o sobě vlastním přenašečem elektrické energie (nikoliv elektrický proud ani elektrické napětí, což jsou jen vnější projevy tohoto pole). Na obr. 2.9 je elektromagnetická vlna zobrazena v jediném okamžiku. Elektromagnetické vlnění je vlnění příčné a má tyto vlastnosti:

- je spojeno s přenosem energie,
- vlnění zanikne, přestane-li zdroj dodávat energii,
- přenos energie se v homogenním poli děje konstantní rychlostí

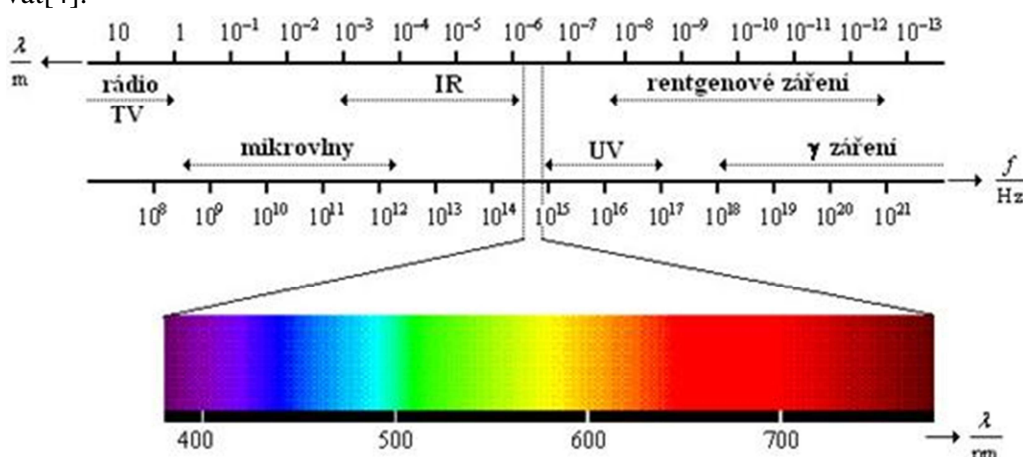


Obr.2.9 Elektromagnetická vlna v jediném okamžiku[20]

Na elektromagnetické vlnění se dá pohlížet jako na vlnu, kterou charakterizuje rychlost šíření, vlnová délka a frekvence, jejichž vzájemný vztah je dán základním Vzorcem (11).

$$c = \lambda \cdot f \quad [\text{m/s}] \quad (11)$$

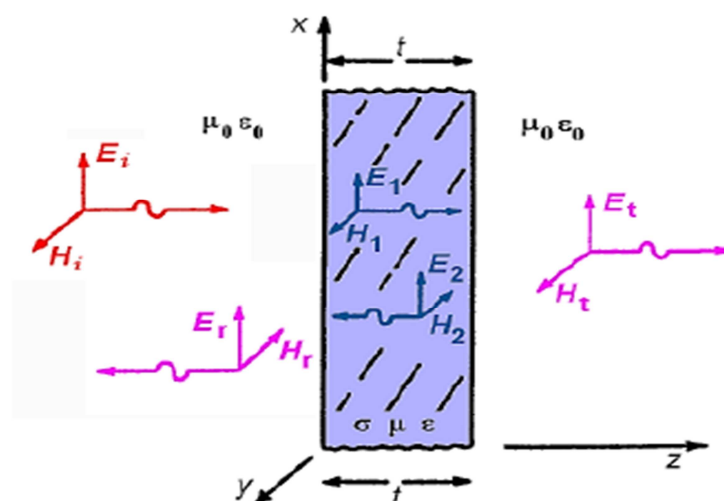
Na obrázku 2.10 je základní rozdělení elektromagnetických vln podle vlnové délky (resp. frekvence). Hranice mezi jednotlivými typy nejsou ostré, volně přechází a mohou se i překrývat[4].



Obr.2.10 Spektrum elektromagnetických vln [18]

2.3.2 Elektromagnetický útlum [7]

Velikost elektromagnetického stínění na obrázku 2.11 definujeme nejčastěji těmito způsoby:



Obr.2.11 Průchod EMP přes překážku [7]

- Jako koeficient stínění K_S , který je definován jako poměr intenzit $E[V/m]$, nebo poměr magnetického pole $H [A/m]$ a vztahy (12),(13).

$$K_S = \frac{E_i}{E_t} \text{ nebo } K_S = \frac{H_i}{H_t} \quad (12),(13)$$

- Účinnost stínění. Jedná se o logaritmické vyjádření koeficientu stínění (14).

$$SE = 20 \log \frac{1}{|K_S|} = 20 \log \left| \frac{E_i}{E_t} \right| [dB] \quad (14)$$

Účinnost stínění můžeme rozložit na tři základní body (15). Na obr. 2.13 a Tab. 2.2 je ukázán vliv jednotlivých složek stínění na tenké desky.

$$SE = R_O + A + M [dB] \quad (15)$$

Útlum odrazem – R_O (16)

$$R_O = 20 \log \left| \frac{(Z_0 + Z_M)^2}{4Z_0 Z_M} \right| [dB] \quad (16)$$

Z_0 - impedance volného prostoru $[\Omega]$ (17)

$$Z_0 = \sqrt{\frac{\mu_0}{\varepsilon_0}} \quad (17)$$

μ_0 - permeabilita $[H/m]$

ε_0 - permitivita $[C^2 N^{-1} m^{-2}]$

Z_M - impedance prostoru $[\Omega]$ (18)

$$Z_0 = \sqrt{\frac{j\mu\omega}{\sigma}} \quad (18)$$

σ - Konduktivita materiálu $[\Omega^{-1} m^{-1}]$

μ -permeabilita $[H/m]$

ω – úhlová rychlost $[s^{-1}]$ (19)

$$\omega = 2\pi f \quad (19)$$

f - Hertz $[Hz]$

Útlum absorpcí – A (20)

Část elektromagnetické vlny je pohlcena při jejím průchodu stínící kovovou přepážkou o tloušťce t vlivem tepelných ztrát. Absorpční útlum roste s druhou odmocninou kmitočtu na dB stupnici. Vodivé feromagnetické materiály ($\mu \gg 1$) mají větší absorpční útlum než stejně vodivé nemagnetické materiály.

$$A = 20 \log |e^{\gamma t}| [dB] \quad (20)$$

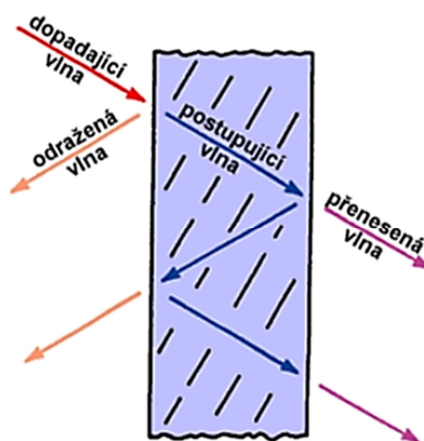
t - tloušťka stínící plochy[m]

γ -vlnové číslo [m^{-1}] (21)

$$\gamma = \sqrt{j\omega\mu\sigma} \quad (21)$$

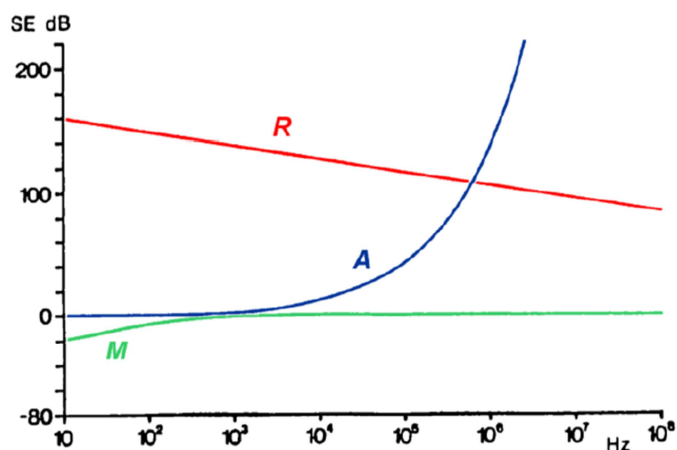
Útlum mnohonásobným odrazem – M (22)

Vzniká opakovaným odrazem jako na obr. 2.12 u vstupu a výstupu ze stínící kovové přepážky.



Obr.2.42 Mnohonásobný odraz [7]

$$M = 20 \log \left| 1 - \left(\frac{Z_0 - Z_M}{Z_0 + Z_M} \right)^2 \cdot e^{-2\gamma t} \right| [dB] \quad (22)$$



Obr.2.13 Účinnost jednotlivých složek u měděné desky tloušťky 1mm [7]

Tab.2.2 Účinnost stínění velmi tenkých měděných povlaků [7]

tloušťka stínění	0,1 μm		1,25 μm		2,2 μm		22 μm	
kmitočet [MHz]	1	1000	1	1000	1	1000	1	1000
útlum odrazem R [dB]	109	79	109	79	109	79	109	79
absorpční útlum A [dB]	0,014	0,44	0,16	5,2	0,29	9,2	2,9	92
mnohonásobné odrazy M [dB]	-47	-17	-26	-0,6	-21	-0,6	-3,5	0
účinnost stínění SE [dB]	62	62	83	84	88	90	108	171

3. VLIV ELEKTROMAGNETICKÉHO POLE NA LIDSKÝ ORGANISMUS A HYGIENICKÉ NORMY

Denně jsou naše těla vystavována neviditelnému působení rozličným elektromagnetických polí. Obecně se dají rozdělit do dvou skupin. Nízkofrekvenční (do 30kHz) u tohoto záření lze rozlišit elektrickou a magnetickou složku. Vysokofrekvenční (do 300 GHz – radiové vlny mikrovlny).

3.1 Vliv elektromagnetických polí na lidský organismus

Elektrické proudy nepatrných hodnot protékají lidským tělem. Příčinou těchto proudů jsou chemické reakce. Většina biochemických reakcí, počínaje zažíváním a mozkovou aktivitou konče, je provázena pohybem elektricky nabitých částic. Lidé většinu elektromagnetických polí nevnímají a nijak jim neškodí a silné elektrostatické pole nám způsobí jen naježení odpuzujících se vlasů. Elektromagnetické pole ovlivňuje vodivé tělní tekutiny a tím v podstatě celé tělo. Pokud se člověk vystaví slabým elektromagnetickým polím s nízkým napětím do 1000 [V], nehrozí nám žádné trvalé ani jiné nebezpečí. Zvýšenou pozornost bychom měli věnovat rentgenovému záření a záření magnetronu mikrovlnné trouby (2450 MHz). Zdravotní účinek těchto polí a záření na lidský organismus je závislý na typu záření, jeho frekvenci, intenzitě (ta klesá se vzdáleností od zdroje) a době působení.

3.1.1 Statická elektrická pole

Vnitřky vodivých předmětů, patří tam i lidské tělo, jsou před statickým elektrickým polem chráněny svými povrchy. Statické elektrické pole indukuje elektrický náboj na povrchu exponované osoby, což se může projevit např. ježením chloupků po těle. Až do 20 kV/m jsou statická elektrická pole považována za neškodná a žádný další vliv není znám.

3.1.2 Statická magnetická pole

Musíme si uvědomit, že člověk je z velké části tvořen látkami, které jsou diamagnetické. To jsou látky, kterými bez potíží magnetické pole projde a jeho intenzita je jen nepatrně zeslabena. Na druhou stranu paramagnetické látky zesilující magnetické pole se v biologické tkáni téměř nevyskytují. Na rozdíl od elektrických polí mohou statická magnetická pole volně pronikat biologickými tkáněmi a bezprostředně tak vzájemně reagovat s pohybujícími se náboji (ionty, proteiny apod.) a magnetickým materiálem, který je v tkáních vytvářen některými fyzikálními mechanismy. Mnoho studií bylo zaměřeno na vliv statického magnetického pole na lidský organismus např. na centrální nervovou soustavu, chování atd. Pokud se jedná o pole s environmentální úrovní, žádné škodlivé účinky se nepotvrdily. U silnějších statických polí v hodnotách 2 [T] a při dlouhodobějším působením se už zdravotní problémy projevují. U statických polí síly 5 [T] už i krátkodobé vystavení působí škodlivé účinky. Snížení krevního toku v aortě a výrazné snížení pracovní schopnosti.

3.1.3 Elektromagnetická pole ELF

Elektromagnetická pole ELF jsou složena z elektrických a magnetických vln, které se pohybují společně. V situacích v praxi působí elektrická a magnetická pole nezávisle na sobě.

3.1.4 Elektrické a magnetické pole ELF

Výsledky studií ukazují, že až na podráždění z elektrického náboje, který je na povrchu těla, jsou účinky:

- Elektrického pole do 20kV/m – neškodné.
- Nad 100kV/m nebyl prokázán žádný účinek.
Zjistilo se, že magnetická pole ELF mají určitý vliv jak na fyziologii člověka, tak na jeho chování.
- Do hodnot 1mA/cm², nebyl zjištěn žádný účinek.
- V mezích 1-10mA/cm², jinak zapsáno 3 Hz na 100-1000mT nebo 5-50 mT na 50 Hz, bylo pozorováno ovlivnění růstu kostí a nervového systému.
- Na 100mA/cm², to je 10 T na 3 Hz nebo 500 mT na 50 Hz, hrozí vážné zdravotní problémy.

3.1.5 Vysokofrekvenční elektromagnetická pole

Hlavním biologickým účinkem vysokofrekvenčních polí (10 kHz – 1 GHz) je ohřev. Hodnoty expozic vysokofrekvenčními poli, kterým je člověk běžně vystavován, jsou podstatně nižší, než aby mohly vyvolat významnější ohřev. Je však nepochybné, že elektromagnetická pole s intenzitami překračujícími určitou hodnotu se mohou projevit biologickými účinky. Výsledky experimentů, které byly uskutečňovány na zdravých dobrovolnících, naznačují, že krátkodobé expozice s hodnotami obvyklými v našem životním prostředí nebo domácnostech nejsou příčinou žádných zjevných škodlivých účinků.

3.2 Hygienické normy [6]

Nařízení vlády 1/2008 Sb. o ochraně zdraví před neionizujícím zářením již zahrnuje směrnice Evropského parlamentu a Rady 2004/40/ES ze dne 29. dubna 2004 o minimálních požadavcích na bezpečnost a ochranu zdraví před expozicí zaměstnanců rizikům spojeným s fyzikálními činiteli (elektromagnetickými poli).

Nejvyšší přípustné hodnoty měřeného absorbovaného výkonu (SAR) jsou stanoveny v tab.3.1. Tyto nejvyšší přípustné hodnoty se vztahují na celkovou absorpci všech přítomných složek elektromagnetického pole v tkáních těla v intervalu frekvencí od 10 kHz do 10 GHz.

Tab.3.1 SAR – nevyšší přípustné hodnoty [6]

Měrný absorbovaný výkon (SAR) ^{b)} - nejvyšší přípustné hodnoty			
Platí pro frekvence od 100000 Hz do 10 ¹⁰ Hz	Měrný absorbovaný výkon - SAR - průměrovaný přes kterýkoli šestiminutový interval a celé tělo	SAR průměrovaný přes kterýkoli šestiminutový interval a pro kterýchkoli 10 g ^{a)} tkáně s výjimkou rukou, zápěstí, chodidel a kotníků	SAR průměrovaný přes kterýkoli šestiminutový interval a pro kterýchkoli 10 g ^{a)} tkáně rukou, zápěstí, chodidel a kotníků
zaměstnanci	0,4 W/kg	10 W/kg	20 W/kg
ostatní osoby	0,08 W/kg	2 W/kg	4 W/kg

^{a)} 10g tkáně uvedené v tab. 3.1 je třeba volit ve tvaru krychle nikoli jako plochý útvar na povrchu těla.

^{b)} Pro expozici osob pulsům kratším než 30μs při frekvenci 300MHz až 10GHz se doporučuje zavést dodatečné omezení 10mJ/kg průměrovaných pro 10g tkáně pro měrnou absorbovanou energii.

V intervalu 10 – 300 GHz jsou nevyšší přípustné hodnoty pro hustotu zářivého toku dopadající na tělo nebo na jeho část stanoveny v tab. 3.2

Tab.3.2 Hustota zářivého toku [6]

Hustota zářivého toku S^* – nejvyšší přípustné hodnoty			
Zaměstnanci		Ostatní osoby	
frekvence f [Hz]	S [W.m ⁻²]	frekvence f [Hz]	S [W.m ⁻²]
$> 10^{10} - 3 \cdot 10^{11}$	50	$> 10^{10} - 3 \cdot 10^{11}$	10

Průměrná doba se vypočítá ze vzorce . $T_{st} = 1.92 \cdot 10^{11} / f^{1.05}$

Frekvence f je v hertzech, S je průměrná hustota zářivého toku dopadajícího na plochu 20cm². Výchozí hodnoty pro elektrické a magnetické pole platí pro pole neporušené přítomností člověka v posuzovaném prostoru. Je-li pole silně nehomogenní, zvolí se hodnota buď průměrovaná přes oblast odpovídající poloze páteře, nebo poloze hlavy exponované osoby.

Tab.3.3 Referenční úrovně pro magnetickou indukci B [6]

Referenční úrovně pro magnetickou indukci B – nepřetržitá expozice			
Zaměstnanci		Ostatní osoby	
frekvence f [Hz]	B [T]	frekvence f [Hz]	B [T]
< 1	$0,28^*$	< 1	$0,056^*$
$1 - 8$	$0,2 / f^2$	$1 - 8$	$0,04 / f^2$
$8 - 25$	$0,025 / f$	$8 - 25$	$0,005 / f$
$25 - 820$	$25 \cdot 10^{-3} / f$	$25 - 800$	$0,005 / f$
50	$500 \cdot 10^{-6}$	50	$100 \cdot 10^{-6}$
$820 - 3 \cdot 10^3$	$30,7 \cdot 10^{-6}$	$800 - 3 \cdot 10^3$	$6,25 \cdot 10^{-6}$
$3 \cdot 10^3 - 65 \cdot 10^3$	$30,7 \cdot 10^{-6}$	$3 \cdot 10^3 - 150 \cdot 10^3$	$6,25 \cdot 10^{-6}$
$65 \cdot 10^3 - 10^6$	$2 / f$	$150 \cdot 10^3 - 10^6$	$0,92 / f$
$10^6 - 10^7$	$2 / f$	$10^6 - 10^7$	$0,92 / f$
$10^7 - 4 \cdot 10^8$	$0,2 \cdot 10^{-6}$	$10^7 - 4 \cdot 10^8$	$0,092 \cdot 10^{-6}$
$4 \cdot 10^8 - 2 \cdot 10^9$	$10^{-11} \cdot f^{0,5}$	$4 \cdot 10^8 - 2 \cdot 10^9$	$4,6 \cdot 10^{-12} \cdot f^{0,5}$
$2 \cdot 10^9 - 3 \cdot 10^{11}$	$0,45 \cdot 10^{-6}$	$2 \cdot 10^9 - 3 \cdot 10^{11}$	$0,20 \cdot 10^{-6}$

*amplituda

Při expozici jen rukou nebo nohou jsou hodnoty zvýšeny.

 Tab.3.4 Referenční úrovně hustot zářivého toku S [6]

Referenční úrovně pro hustotu zářivého toku* S – nepřetržitá expozice			
Zaměstnanci		Ostatní osoby	
Frekvence f [Hz]	S [W.m ⁻²]	frekvence f [Hz]	S [W.m ⁻²]
$10^7 - 4 \cdot 10^8$	10	$10^7 - 4 \cdot 10^8$	2
$4 \cdot 10^8 - 2 \cdot 10^9$	$f / 4 \cdot 10^7$	$4 \cdot 10^8 - 2 \cdot 10^9$	$f / 2 \cdot 10^8$
$2 \cdot 10^9 - 3 \cdot 10^{11}$	50^{**}	$2 \cdot 10^9 - 3 \cdot 10^{11}$	10^{**}

*Tato veličina je použitelná jen pro postupnou vlnu.

**V intervalu frekvencí od hodnot 10 GHz do hodnoty 300GHz je hustota zářivého toku nejvyšší přípustnou hodnotou. Doba průměrování pro frekvence 10GHz až 300GHz je $T_s = 1,92 \cdot 10^{11} / f^{1,05}$; f je v Hz doba průměrování v minutách

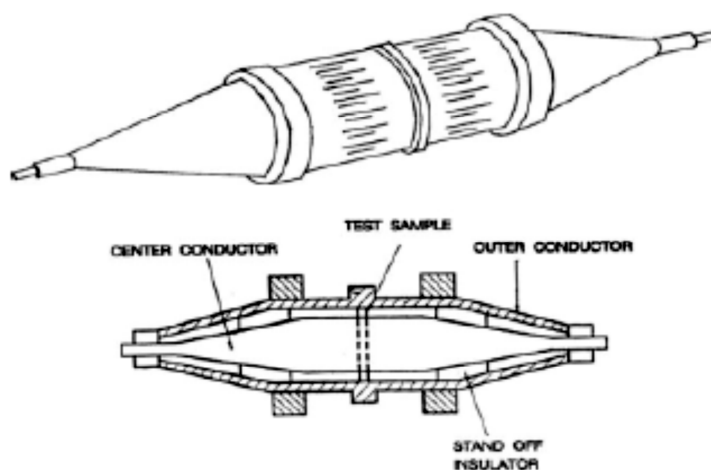
4 METODY ELEKTROMAGNETICKÉHO STÍNĚNÍ

Nejčastější tři metody měření účinnosti elektromagnetického stínění jsou:

- metodu koaxiálního přenosového vedení (Obr.4.1)
- metodu stíněného prostoru (Obr.4.2)
- metodu stíněné schránky (Obr.4.3)

4.1 Metoda koaxiálního přenosového vedení

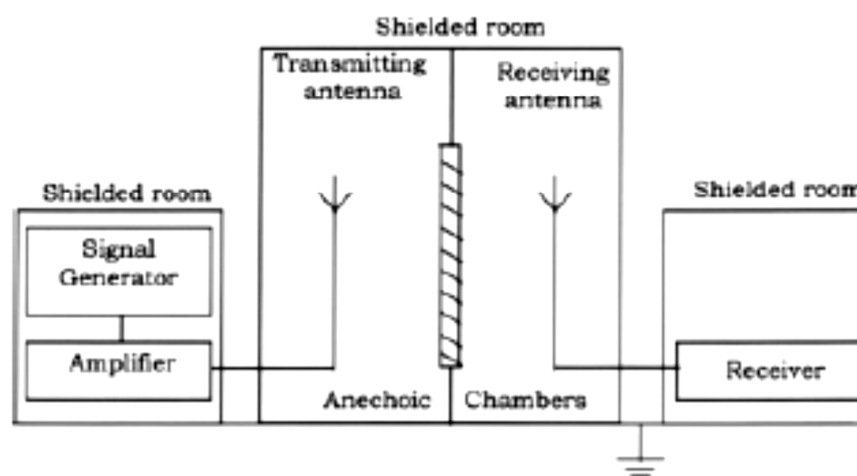
Výhodou metody je, že hodnoty naměřené v různých laboratorních zařízeních jsou porovnatelné. Navíc je touto metodou možno rozlišit odraženou, pohlcenou a prošlou energii. Test se provádí na malých vzorcích kulatého tvaru. A proto je tato metoda nevhodná pro měření pokoveného skla.



Obr.4.1 Princip měření efektivit stínění pomocí koaxiální metody [16]

4.2 Metodu stíněného prostoru

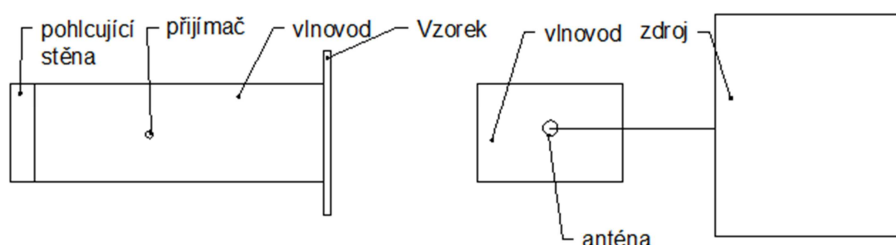
Jedná se o nejpresnější metodu. Vzorek je umístěn v bezodrazové komoře a komponenty jsou izolovány, aby bylo možné vyloučit interferenci. Testované vzorky jsou v přibližných rozměrech $2,5\text{m}^2$.



Obr.4.2 Princip měření efektivity stínění pomocí metody stíněného prostoru [16]

4.3 Metodu stíněné schránky [21]

Základem této metody jsou dva kovové vlnovody. V prvním vlnovodu je anténa generující EMP a na vstup do druhého vlnovodu se umísťuje zkušební vzorek viz obr. 4.3 a uprostřed je také umístěn přijímač. Konec druhého vlnovodu je uzavřen materiálem pohlcující elektromagnetické pole.



Obr.4.3 Princip měření stínící schránky

Hlavní nevýhodou metody je, že rozměry vlnovodu se s frekvencí musí měnit. Výhodou je naopak malý rozměr zkušební vzorku (15x15cm).

Samotný útlum se pak vypočítá pomocí vzorce (23).

$$SE[dB] = 20 \log \frac{S_1}{S_2} \quad (23)$$

S_1 – je hustota zářivého toku [W/m^2] měřená s překážkou

S_2 – je hustota zářivého toku [W/m^2] bez překážky

5 EXPERIMENTÁLNÍ ČÁST

Možnosti jak stínit EMP transparentní vrstvou není mnoho a jak jsem naznačil v kapitole 2.1, mnoho firem se touto metodou nezabývá. Mnou zvolené vzorky jsou s ohledem na dostupnost a potenciál stínit EMP.

5.1 Druhy použitých vzorků pro stínění EMP

Vzorky lze rozdělit do dvou základních skupin:

- kovové, sítě
- pokovené fólie
- pokovená skla

5.1.1 Kovové sítě

Většina námi použitých sítěk se nepoužívají jako clona pro elektromagnetické pole, ale používají se pro omezení prostupu světla a to především v interiéru viz obr. 5.1. Lze jimi měnit tepelně technické parametry fasád. Pro jejich vysokou cenu se však používají jiná řešení. Proto jejich použití je převážně jako dekorativní prvek v interiéru. Výjimkou mezi těmito sítěkami je vzorek 3 tedy síťka mosazná. Ta byla použita k stínění magnetické rezonance. Sítěky jsou od společnosti SEFAR, výjimkou je síťka mosazná, u které výrobce není znám.



Obr.5.1 Dekorativní použití sítěk (Hliníková)[17]

- **Příklad značení sítěk**

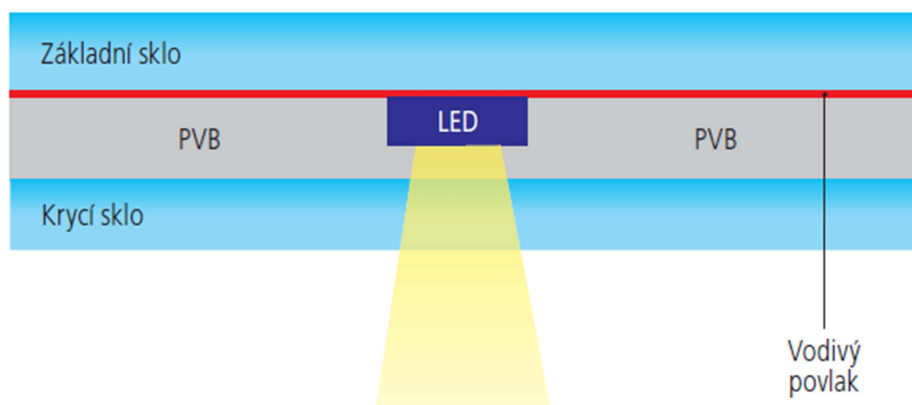
příklad: Al 140/70 –první je vždy označení prvku, z kterého je síťka vyrobena, 140 nám označuje průměr drátu v μm , 70 je hodnota v % a říká nám, kolik z plochy jsou oka a kolik síťka (čím menší číslo tím hustší síťka).

5.1.2 Pokovená fólie

Fólie, kterou jsme testovali na útlum EMP, byla fólie EvaSafe od společnosti Bridgestone. Jedná se o pokovenou fólii. Jejím hlavní použitím je pro okna a střešní světlíky. Ze samotného názvu se dá odvodit, za jakým účelem se fólie používá. Zamezuje ohřívání prostor, prostupu infračerveného (IR) a ultrafialového (UV) záření (elektromagnetické záření s vlnovou délkou kratší než viditelné světlo, avšak delší než rentgenové záření). Propustnost viditelného světla této fólie se pohybuje kolem 74%. Navíc fólie působí jako bezpečnostní prvek, při rozbití skleněné tabule zůstane sklo pohromadě.

5.1.3 Pokovená skla

Vzorky StopSolClassic Clear, SunergyClear, Planibel G fast jsou produkty AGC a jsou chráněny patentem. Jsou pokoveny oxidy kovů, které neoxidují a zlepšují mechanické vlastnosti skla a jeho odolnost proti atmosférickým vlivům. U těchto skel se vrstva nanáší pyrolyticky, když sklovina opouští cínovou lázeň a sklo má kolem 600°C, tak se nanese vrstva oxidu kovu. Používají se na fasády a do oken (díky své protisluneční ochraně před IR a UV zářením převážně jako dvojsklo s rámečkem). Pro vysoce vodivou pokovenou vrstvu, je lze použít k napájení LED diod Obr.5.2.

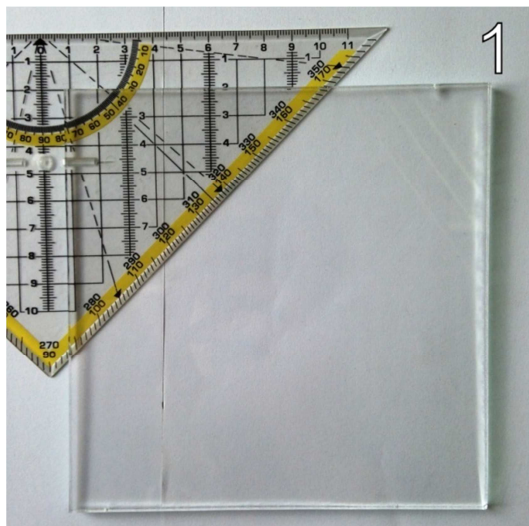


Obr.5.2 Složení vrstveného skla se zabudovanými LED Diodami [9]

5.2 Popis vzorků

- **Vzorek 1- čiré sklo**

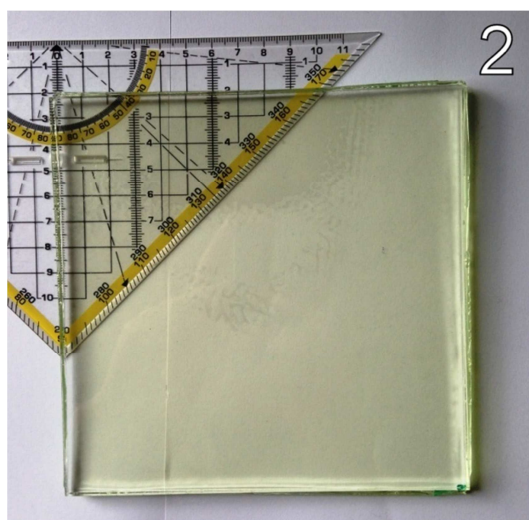
Složení (vrstvy): 4mm sklo, Cena za m²: 300,- Kč



Obr.5.3 Vzorek 1

- **Vzorek 2 – vrstvené sklo**

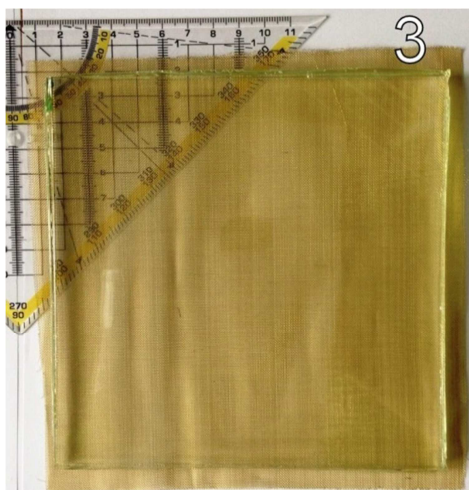
Složení (vrstvy): 4mm sklo, 2x fólie EvaSafe čirá, 4mm sklo, Cena za m²: 1600,- Kč



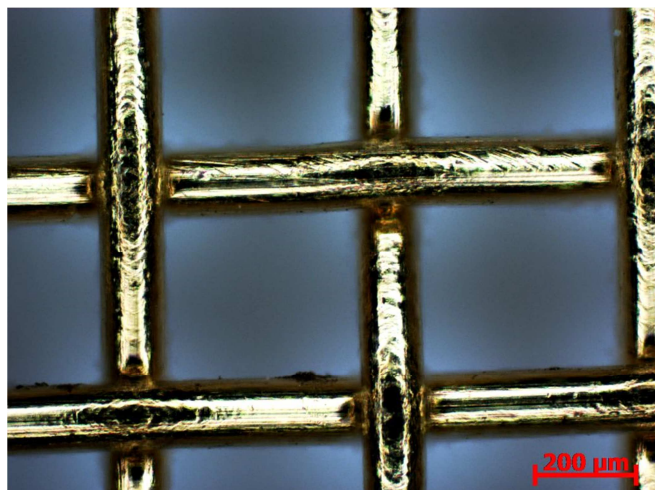
Obr.5.4 Vzorek 2

- **Vzorek 3 – mosazná síťka**

Složení (vrstvy): 4mm sklo, fólie EvaSafe čirá, mosazná síťka, fólie EvaSafe čirá, 4mm sklo
Cena za m²: 2600,- Kč



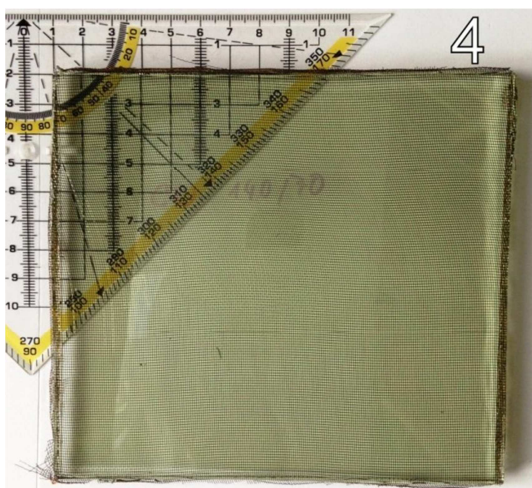
Obr.5.5 Vzorek 3



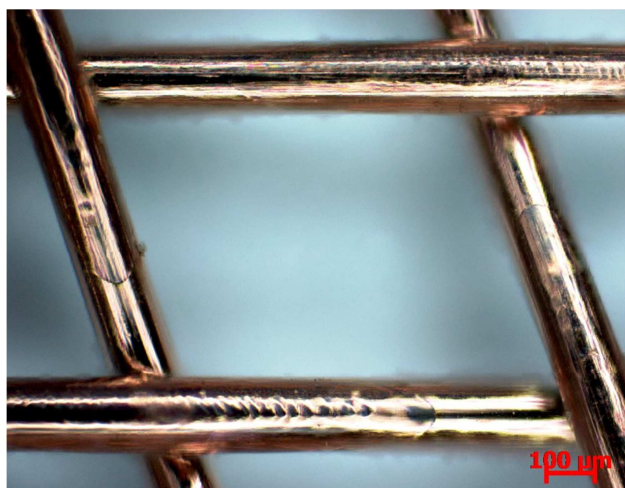
Obr.5.6 Vzorek 3_100x zvětšení na Optickém mikroskopu

- **Vzorek 4 – měděná síťka 140/70**

Průměr drátu: 0,14mm, Clona: 70%, Propustnost světla: 61%
Složení (vrstvy): 4mm sklo, fólie EvaSafe čirá, měděná síťka, fólie EvaSafe čirá, 4mm sklo
Cena za m²: 2500-5000,- Kč



Obr.5.7 Vzorek 4



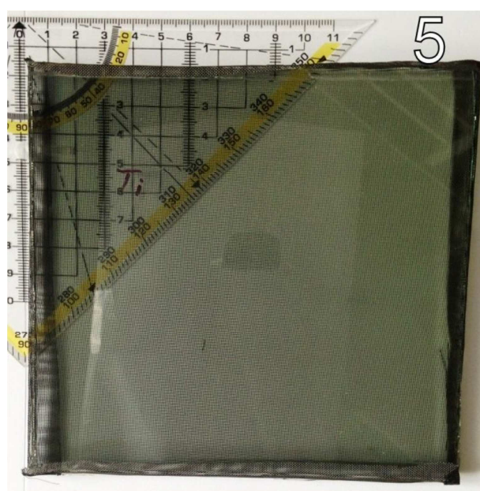
Obr.5.8 Vzorek 4_100x zvětšení na Optickém mikroskopu

- **Vzorek 5 – titanová síťka 140/50**

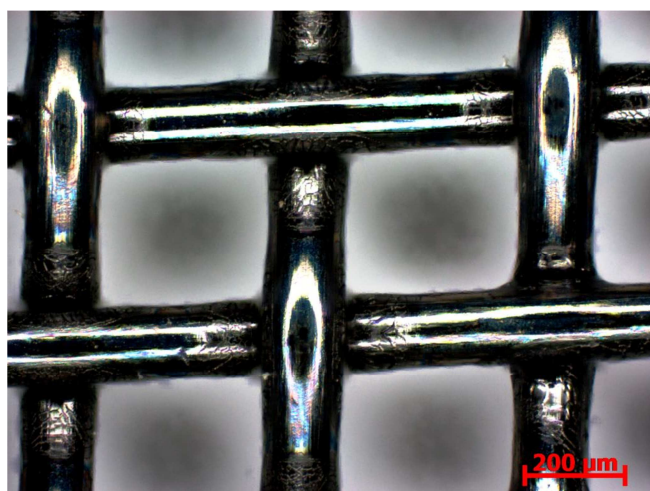
Průměr drátu: 0,14mm, Clona: 50%, Propustnost světla: 44%

Složení (vrstvy): 4mm sklo, fólie EvaSafe čirá, titanová síťka, fólie EvaSafe čirá, 4mm sklo

Cena za m²: 2500-5000,- Kč



Obr.5.9 Vzorek 5



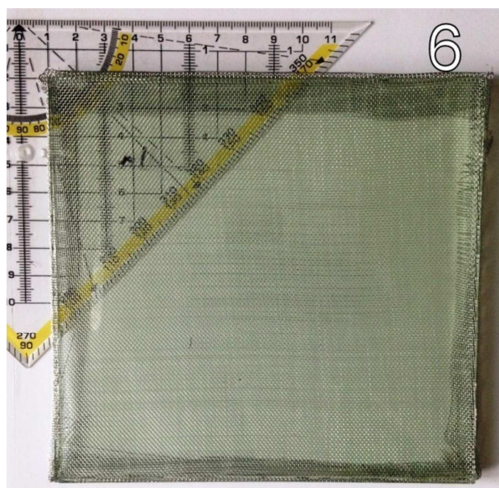
Obr.5.10 Vzorek 5_100x zvětšení na Optickém mikroskopu

- **Vzorek 6 – hliníková síťka 140/70**

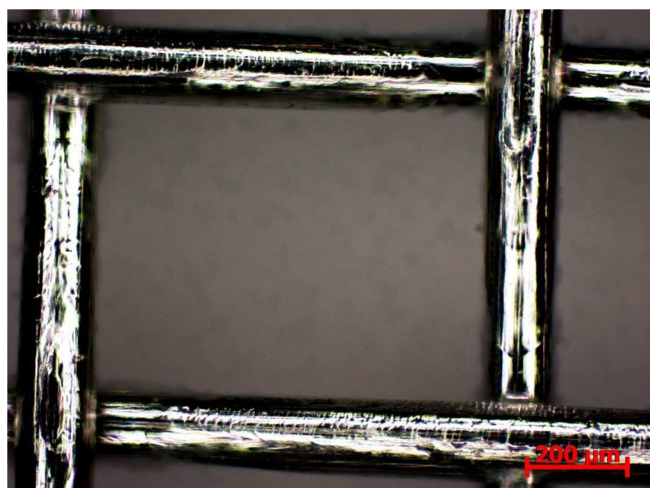
Průměr drátu: 0,14mm, Clona: 70%, Propustnost světla: 61,8%

Složení (vrstvy): 4mm sklo, fólie EvaSafe čirá, hliníková síťka, fólie EvaSafe čirá, 4mm sklo

Cena za m²: 2500-5000,- Kč



Obr.5.11 Vzorek 6



Obr.5.12 Vzorek 6_100x zvětšení na Optickém mikroskopu

- **Vzorek 7 – měděná síťka 260/25**

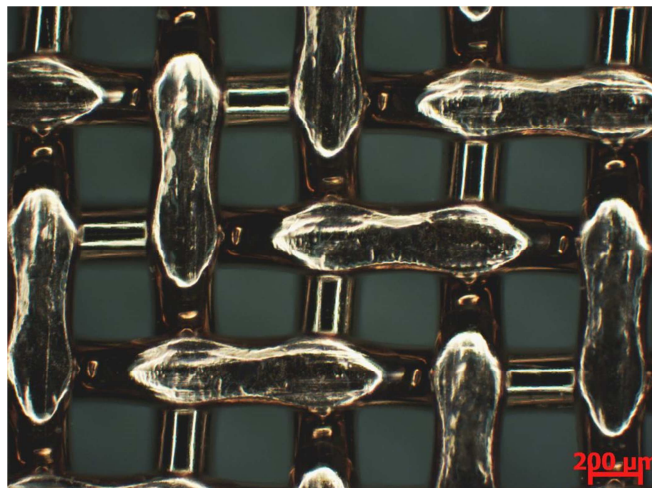
Průměr drátu: 0,26mm, Clona: 25%, Propustnost světla: 20,8%

Složení (vrstvy): 4mm sklo, fólie EvaSafe čirá, měděná síťka, fólie EvaSafe čirá, 4mm sklo

Cena za m²: 2500-5000,- Kč



Obr.5.13 Vzorek 7



Obr.5.14 Vzorek 7_50x zvětšení na Optickém mikroskopu

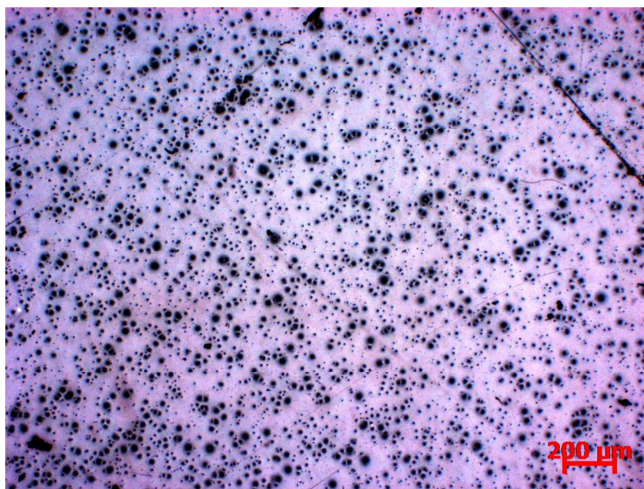
- **Vzorek 8 – fólie CoolSafe**

Složení (vrstvy): 4mm sklo, fólie EvaSafe matná, CoolSafe, fólie EvaSafe čirá, 4mm sklo

Cena za m²: 3000,- Kč



Obr.5.15 Vzorek 8



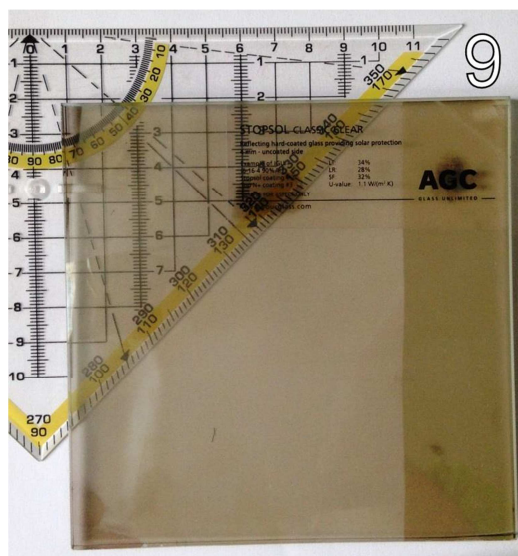
Obr.5.16 Vzorek 8_100x zvětšení na Optickém mikroskopu.

- **Vzorek 9 – StopSolClassic Clear**

Propustnost světla: 34%

Složení (vrstvy): 4mm sklo s pokovenou vrstvou

Cena za m²: od 500,- Kč

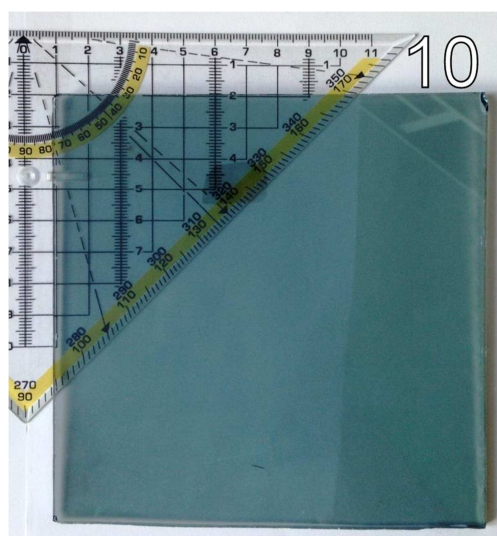


Obr.5.17 Vzorek 9

- **Vzorek 10 – Pokovené sklo Ti Cr Ni 350nm**

Složení (vrstvy): 3mm sklo s pokovenou vrstvou

Cena za m²: -100,- Kč

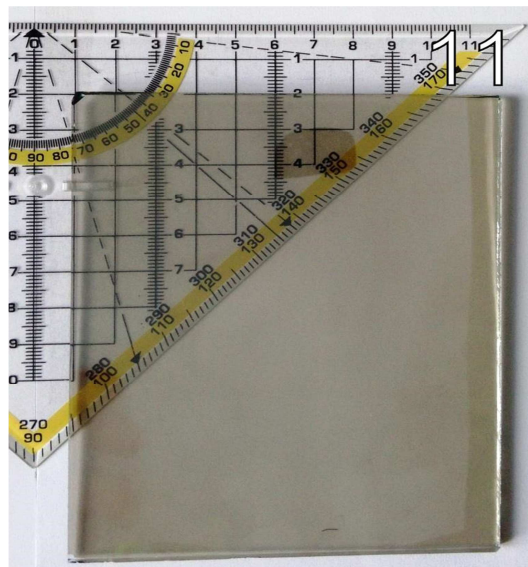


Obr.5.18 Vzorek 10

- **Vzorek 11 – pokovené sklo Ti Cr Ni 200nm**

Složení (vrstvy): 3mm sklo s pokovenou vrstvou

Cena za m²: -100,- Kč



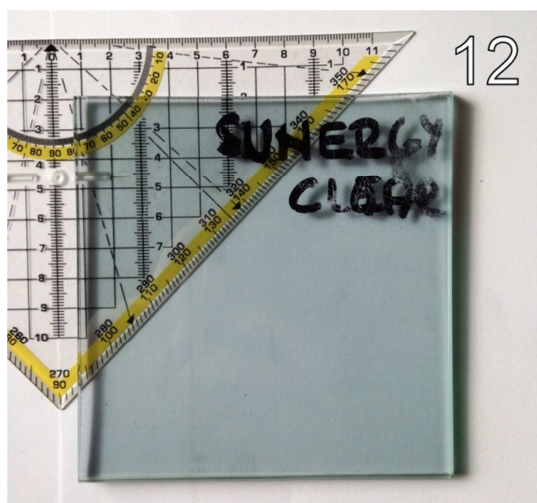
Obr.5.19 Vzorek 11

- **Vzorek 12 – Sunergy Clear**

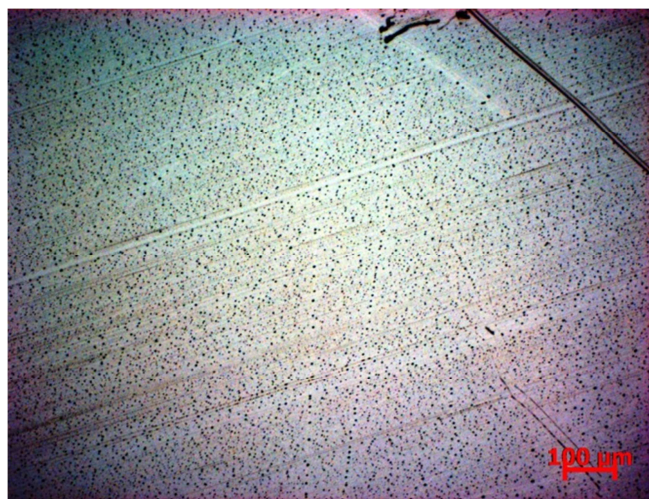
Propustnost světla: 68%

Složení (vrstvy): 4mm sklo s pokovenou vrstvou

Cena za m²: od 500,- Kč



Obr.5.19 Vzorek 12



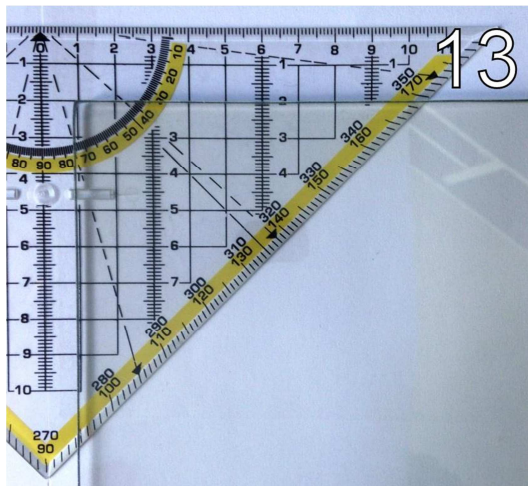
Obr.5.20 Vzorek 8_100x zvětšení na Optickém mikroskopu

- **Vzorek 13 – Planibel G fasT**

Propustnost světla: 82%

Složení (vrstvy): 4mm sklo s pokovenou vrstvou

Cena za m²: od 500,- Kč



Obr.5. 21 Vzorek 13

5.3 Měření metodou stínící schránky

Pro měření elektromagnetického útlumu v bakalářské práci, jsem zvolil metodu stínící schránky. Dimenzovanou na frekvenci 2,45 GHz. Tuto metodu jsem zvolil z několika důvodů: měřicí přístroj se nachází v areálu školy, dalším důvodem byla velikost vzorků, ať už z důvodu cen sítěk (1m² stojí 1000 Kč), nebo z důvodu manipulovatelnosti. Pracoviště je na obr 5.23. Postup měření: Po zapnutí přístroje jsem nastavil výchozí hodnotu 502mV. Na měřicím přístroji jsem odečetl výchozí hodnotu hustoty zářivého toku S. Ke vstupu do druhého vlnovodu přiložil vzorek a na HF 38B odečetl hustotu zářivého toku, která prošla skrze stínící materiál. Měření jsem opakoval 5x a z těchto jednotlivých měření jsem určil průměrnou hodnotu, odchylku měření a jako poslední samotný útlum podle rovnice (23).



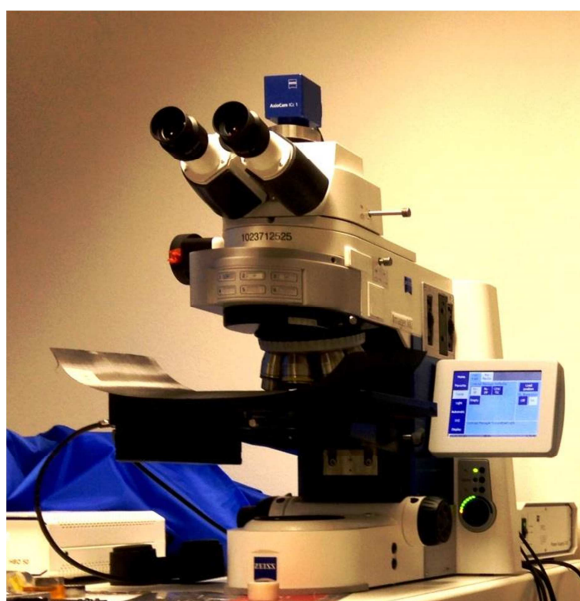
Obr.5.22 HF 38B- měřicí přístroj



Obr.5.23 Stínící schránka

5.4 Optický Mikroskop ZEISS

K náhledu na strukturu kovových sítěk, folie a pokovených skel jsem použil optický mikroskop ZEISS Imager M2 (Obr. 5.25). Použil jsem 3 druhy zvětšení 25x,50x,100x a v bakalářské práci použil převážně 100x zvětšené snímky.



Obr.5.24 Optický mikroskop ZEISS

5.5 Naměřené hodnoty

Tab. 3.1 Naměřené hodnoty 1. měření

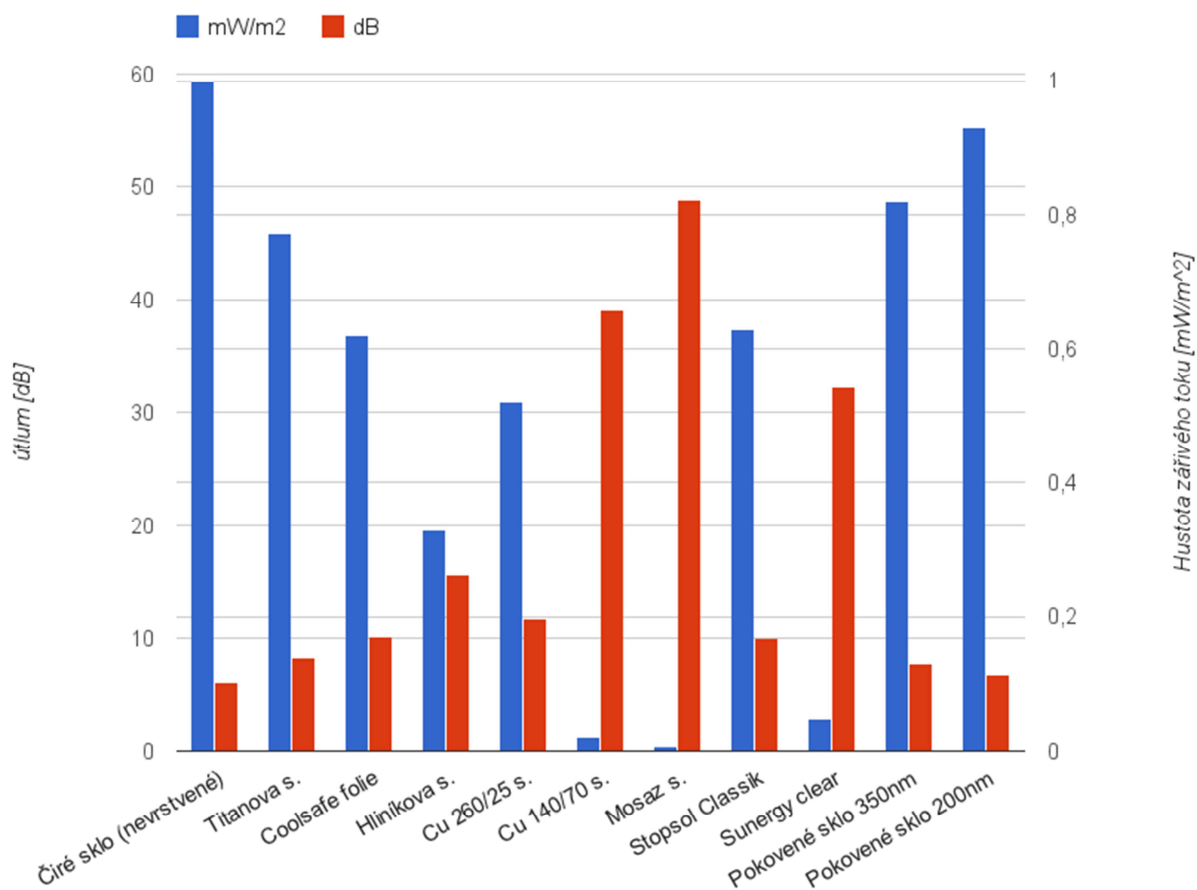
číslo měření (2.)	1 [mW/m ²]	2 [mW/m ²]	3 [mW/m ²]	4 [mW/m ²]	5 [mW/m ²]	průměrná naměřená hodnota	odchylka měření ±	Útlum [dB]
Čiré sklo (nevrstvené)	1	1,2	0,9	0,9	1	1	0,110	6
Titanová síťka	0,8	0,8	0,7	0,65	0,9	0,77	0,087	8,3
CoolSafe	0,63	0,56	0,66	0,65	0,6	0,62	0,036	10,17
Hliníková síťka	0,3	0,35	0,38	0,28	0,34	0,33	0,036	15,65
Cu 260/25 síťka	0,55	0,51	0,52	0,5	0,52	0,52	0,017	11,72
Cu 140/70 síťka	0,022	0,022	0,0225	0,0223	0,0227	0,0223	0,0003	39,05
Mosazná síťka	0,008	0,007	0,0073	0,0067	0,007	0,0073	0,0004	48,75
Stopsol Classic	0,68	0,58	0,63	0,61	0,65	0,63	0,034	10
Sunergy Clear	0,05	0,05	0,047	0,047	0,051	0,049	0,002	32,22
Pokovené sklo 350nm	0,81	0,85	0,82	0,82	0,8	0,82	0,017	7,74
Pokovené sklo 200nm	0,9	0,95	0,94	0,93	0,93	0,93	0,017	6,65

*Výchozí hodnota S [W/m²] bez vzorku- 2 [mW/m²]

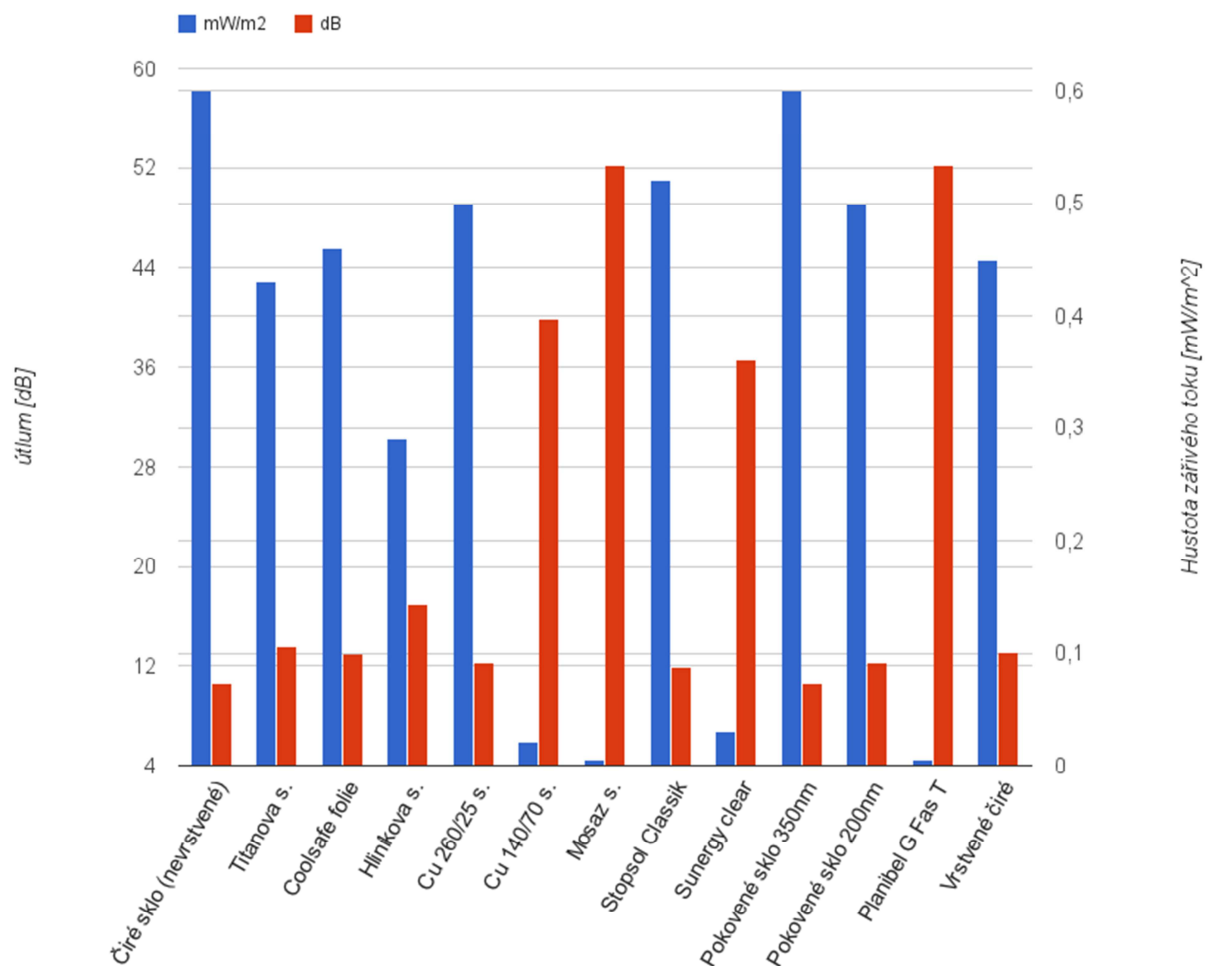
Tab. 3.2 Naměřené hodnoty 2. měření

číslo měření (2.)	1 [mW/m ²]	2 [mW/m ²]	3 [mW/m ²]	4 [mW/m ²]	5 [mW/m ²]	průměrná naměřená hodnota	odchylka měření ±	Útlum [dB]
Čiré sklo (nevrstvené)	0,6	0,61	0,59	0,65	0,55	0,6	0,032	10,62
Titanová síťka	0,43	0,43	0,44	0,4	0,45	0,43	0,017	13,52
CoolSafe	0,5	0,43	0,46	0,46	0,45	0,46	0,023	12,94
Hliníková síťka	0,3	0,31	0,27	0,28	0,29	0,29	0,014	16,95
Cu 260/25 síťka	0,52	0,5	0,49	0,48	0,51	0,5	0,014	12,2
Cu 140/70 síťka	0,0208	0,02	0,021	0,021	0,0207	0,0207	0,0004	39,9
Mosazná síťka	0,0049	0,0049	0,0051	0,005	0,0051	0,005	0,0001	52,2
Stopsol Classic	0,52	0,53	0,47	0,51	0,52	0,52	0,021	11,9
Sunergy Clear	0,03	0,032	0,028	0,03	0,03	0,03	0,001	36,65
Pokovené sklo 350nm	0,6	0,61	0,6	0,59	0,6	0,6	0,006	10,62
Pokovené sklo 200nm	0,49	0,48	0,52	0,51	0,5	0,5	0,014	12,21
Planibel G fasT	0,005	0,004	0,006	0,005	0,005	0,005	0,001	52,21
vrstvené sklo	0,44	0,48	0,44	0,45	0,44	0,45	0,015	13,1

*Výchozí hodnota S [W/m²] bez vzorku- 2,04 [mW/m²]



Obr.5.25 Naměřené hodnoty 1. měření jsou uvedené ve sloupcovém grafu



Obr.5.26 Naměřené hodnoty 2. měření jsou uvedené ve sloupcovém grafu

6 DISKUSE A VYHODNOCENÍ

V oblasti elektromagnetického stínění není mnoho firem, které by se zabývali transparentní metodou stínění. Firma REM nabízí stínění jako druhotný produkt k lékařským přístrojům a firma HOLLAND SHIELDING SYSTEMS nabízí kovové sítky pro stínění oken.

Sice je dnes člověk denně vystaven různým ELM polím, ale absolutní většina těchto polí nemá na lidský organismus žádné účinky, jak z dlouhodobé tak krátkodobé expozice a ať už mluvíme o mobilní síti, nebo přidruženém záření ze spotřebiče. Jistá skupina lidí je však vystavena zdraví škodlivým polím a tyto lidi je potřeba chránit.

Předkládaná bakalářská práce nabízí výsledky měření, která byla zhotovena metodou stínící schránky na frekvenci 2,45 GHz a hustotou zářivého toku 2 mW/m^2 . Tento způsob měření elektromagnetického útlu byl zvolen z několika důvodů: pro svoji jednoduchost, dostupnost a malou velikost vzorků, která se pohybuje kolem $15 \times 15 \text{ cm}$.

Naměřené hodnoty z prvního a druhého měření, které nám ukazují útlum jednotlivých vzorků, jsou uvedené v tabulkách 3.1 a 3.2. Rozdílné hodnoty útlu u stejných vzorků mezi prvním a druhým měření jsou způsobeny chybovostí přístroje, která se pohybuje v rozmezí $\pm 3 \text{ dB}$, samotnou chybou měření a rozsahem hustoty zářivého toku ve které jsme měřili.

Z naměřených hodnot je zcela patrné, které sítky a pokovené sklo stíní nejvíce. Druhý nejlepší výsledek byl dosažen u měděné sítky Cu 140/70 s útlumem pohybujícím se těsně pod hranicí 40 dB a propustností světla 61%. Nejlepší útlum měla mosazná síťka s útlumem 50 dB.

U pokoveného skla Sunergy Clear byl útlum roven 35 dB a propustnost světla tímto sklem je 68%. Sklo Planibel G fasT s útlumem 52 dB a propustností světla 82% dosáhlo nejlepších výsledků z provedených měření. Pokovené sklo Planibel G fasT vítězí nejen útlumem a propustností světla, ale také svojí cenou, která zdaleka nedosahuje konečných cen u zavrstvené kovové sítky. I když se tyto hodnoty nepřibližují k útlumu 130 dB, které se považuje za velice dobrý výsledek stínění, tak nám naznačují cestu a směr, jimiž bychom se v budoucnu mohli zabývat a dosáhnout mnohem lepších výsledků.

Z naměřených údajů bych pro následnou možnou realizaci doporučil dvě řešení:

1. Použití mosazné sítky a to i přes vyšší výrobní cenu zvrstveného skla (2500-5000,- Kč za m^2). Spojením dvou a více zvrstvených skel do jedné celistvé tabule, tak aby byl zajištěn dokonalý spoj sítěk ve zvrstveném skle, lze zajistit mechanickým spojem nebo například pájením.
2. Použitím pokoveného skla Planibel G fasT s vyšším naměřeným útlumem než mosazná síťka, ale zaručení dokonale vodivého spoje bude obtížnější. První řešení se nabízí vložení skla do vodivého rámu a zajistí se tak rovnoměrný útlum v celé ploše. Druhý způsob řešení by bylo použití elektricky vodivých silikonů a lepidel, je však potřeba provést měření útlu v těchto spojkách.

7 ZÁVĚR

V předložené bakalářské práci byla:

1. Zpracována rešerše v oblasti studované problematiky stínění elektromagnetických polí s ohledem na transparentnost stínícího materiálu.
2. Navrhnutá a ověřena vhodná metodika hodnocení útlumu bariérních materiálů.
3. Provedena vyhodnocení experimentálních výsledků.
4. Na základě experimentů byla provedena diskuse a vyhodnoceny závěry.

8 POUŽITÁ LITERATURA

- [1] R. Kužel, M. Saxlová, J. Šternberk - Úvod do fyziky kovů 2. vyd., Praha: SNTL, 1985. 283 s.,
- [2] SVAČINA, J. Základy elektromagnetické kompatibility. Část 6: Normalizace v oblasti EMC. Elektrevue [online]. 2001/36 [cit. 2013-04-07]. Dostupné z <http://www.elektrevue.cz>. ISSN 1213-1539.
- [3] AVLONI, J., et al Electromagnetic shielding with polypyrrole-coated fabrics. In AMC Europe Conference. [s.l.] : [s.n.], 2006. [cit. 2013-04-01]
- [4] Bc. ŠPILLER O. Měření EMI výkonových prvků obvodů řízení pohybů a jejich vliv na sdělovací a telekomunikační systémy: diplomová práce. Pardubice: Univerzita Pardubice, DOPRAVNÍ FAKULTA, 2009. 83 1. Vedoucí diplomové práce Radovan Doleček
- [6] Nařízení vlády č. 1/2008 Sb., o ochraně zdraví před neionizujícím zářením [cit. 2013-04-1]
- [7] NOVÁK, Jaroslav [online] 28.1.2004
<http://www.tzb-info.cz/1801-elektromagneticke-pole-a-zdravotni-rizika-i> [cit. 2013-05-05]
- [7] DŘÍNOVSKÝ, J. Elektromagnetické stínění. prezentace
Brno: Ústav radioelektroniky
Dostupné na www.urel.feec.vutbr.cz/~drinovsky [cit. 2013-04-04]
- [8] ŠAFÁŘOVÁ, V. Textilní materiály se zvýšenou elektrickou vodivostí
Liberec: TUL Liberec katedra hodnocení textilií FT, 2010 [cit. 2013-04-01]
- [9] Vše o skle II. dostupné z www.YourGlass.com [cit. 2013-05-08]
- [10] SefarArchitecture VUSION [online] [cit. 10.5.2013]. Dostupné z <http://goo.gl/IXnr1>
- [11] Mudroch LABS s.r.o.. [online]. [cit. 2013-04-15]. Dostupné z: <http://www.triagulace.cz/>
- [12] HOLLAND SHIELDING SYSTEMS. [online]. [cit. 2013-04-15]. Dostupné z: <http://www.faradaycages.com/index2.php?p=Content&id=148&nav=Faraday>
- [13] ETS-Lindgren. [online]. [cit. 2013-04-17]. Dostupné z: <http://www.ets-lindgren.com/>
- [14] REM Faraday Cage. [cit. 2013-04-15].
- [15] http://cs.wikipedia.org/wiki/Elektrick%C3%A1_polarizace#Polarizace_dielektrika
[cit. 2013-04-15]
- [16] obrázky měření EMI Shielding: Methods and Materials—A Review
- [17] <http://www.sefar.com/> [cit. 2013-04-35].
- [18] <http://fyzika.jreichl.com/main.article/print/719-zareni-absolutne-cerneho-telesa>
[cit. 2013-04-15]

- [19] KOPAL, A., ERHART, J., ČMELÍK, M., MACHONSKÝ L. FYZYKA II: Elektřina, magnetismus, Maxwellovy rovnice. 1. vyd. TUL, 2008. 232. 978-80-7372-311-8
- [20] http://www.edinformatics.com/math_science/electromagnetic_spectrum.htm
[cit. 2013-05-18]
- [21] ŠAFÁŘOVÁ V., MILITKÝ J., MARŠÁLKOVÁ M., Usability of Modified Shielded Box Method for Testing Shielding Effectiveness of Textile Samples [cit. 2013-04-15]